

Steer-by-wire steering system for motorized vehicles

Patent number: US6219604

Publication date: 2001-04-17

Inventor: DILGER ELMAR (DE); AHNER PETER (DE); LOHNER HERBERT (DE); DOMINKE PETER (DE); CAO CHI-THUAN (DE); NGUYEN NGOC-THACH (DE); JANETZKE HELMUT (DE); ALLGEIER THORSTEN (DE); PFEIFFER WOLFGANG (DE); YUAN BO (DE); MULLER BERND (DE); RIES-MUELLER KLAUS (DE); HARTER WERNER (DE); SAUER THOMAS (DE); HESS WERNER (DE); BLESSING PETER (DE)

Applicant: BOSCH GMBH ROBERT (US)

Classification:

- **international:** **B62D5/04; B62D6/00; B62D5/04; B62D6/00; (IPC1-7):**
B62D11/00

- european: B62D5/04; B62D6/00

Application number: US19990473375 19991228

Priority number(s): DE19981060613 19981229, DE19991012169 19990318

Also published as:



JP2000198453 (A)

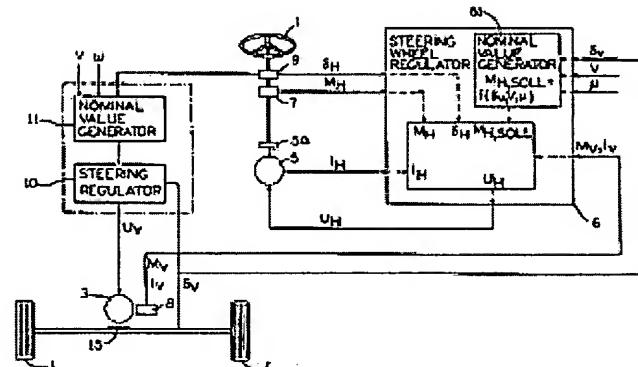


DE19912169 (A1)

Report a data error here

Abstract of US6219604

A steer-by-wire steering system comprised of an electronically regulated steering positioner mounted to the steering gear of the front axle or to both front wheels of a vehicle together with an electronic steering regulator and a feedback actuator. A sensor senses the driver's selected direction from the steering wheel. Road feedback can be relayed to the driver through a feedback actuator via the steering wheel. The loss of road feel caused by the absence of the steering column, which normally strongly influences the driver's directional wish, is recreated by the feedback actuator.



Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide

REST AVAILABLE COPY

THIS PAGE BLANK (USPTO)



19 BUNDESREPUBLIK

DEUTSCHLAND



**DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT**

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 199 12 169 A 1**

⑤ Int. Cl. 7:
B 62 D 5/04
B 62 D 6/00
B 62 D 37/00
// B62D 111:00,
137:00,153:00

(21) Aktenzeichen: 199 12 169.9
(22) Anmeldetag: 18. 3. 1999
(43) Offenlegungstag: 6. 7. 2000

65 Innere Priorität:
198 60 613.3 29. 12. 1998

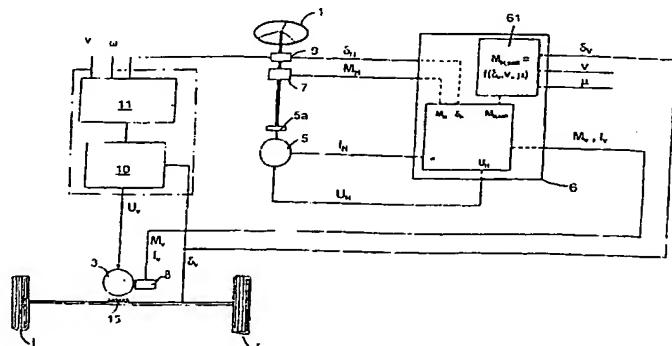
⑦1 Anmelder:
Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE

72 Erfinder:
Dilger, Elmar, Dr., 70771 Leinfelden-Echterdingen, DE; Ahner, Peter, 71032 Böblingen, DE; Lohner, Herbert, 71292 Friolzheim, DE; Dominke, Peter, 74321 Bietigheim-Bissingen, DE; Cao, Chi-Thuan, Dr., 70825 Kornatal-Münchingen, DE; Janetzke, Helmut, 71282 Hemmingen, DE; Pfeiffer, Wolfgang, 71723 Großbottwar, DE; Nguyen, Ngoc-Thach, 71723 Großbottwar, DE; Allgeier, Thorsten, 74078 Heilbronn, DE; Yuan, Bo, Dr., 76131 Karlsruhe, DE; Müller, Bernd, Dr., 71229 Leonberg, DE; Harter, Werner, 75428 Illingen, DE; Hess, Werner, 70499 Stuttgart, DE; Ries-Mueller, Klaus, 74906 Bad Rappenau, DE; Sauer, Thomas, 70599 Stuttgart, DE; Blessing, Peter, Prof., 74078 Heilbronn, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

54) Steer-by-wire Lenksystem für Kraftfahrzeuge

57 Die Erfindung betrifft ein Steer-by-Wire Lenksystem, welches aus einem elektronisch geregelten elektromotorischen Lenksteller (3), der am Lenkgetriebe (15) der Vorderachse oder auch an beiden Vorderrädern angebracht ist, einem elektronischen Lenkregler (10) und einer Feedback-Aktuatoreinheit (5, 6) besteht. Der Fahrerlenkwunsch (δ_H) wird am Lenkrad (1) durch einen Geber (9) abgegriffen. Die Rückwirkungen der Straße lassen sich durch die Feedback-Aktuatoreinheit (5, 6) über das Lenkrad (1) an den Fahrer übermitteln. Das durch den Wegfall der Lenksäule verlorengegangene Straßengefühl, durch das der Fahrerwunsch stark beeinflußt ist, wird erfindungsgemäß durch die Feedback-Aktuatoreinheit (5, 6) nachgebildet.



DE 19912169 A1

Beschreibung

Stand der Technik

5 Die Erfindung geht aus von einem Steer-by-Wire Lenksystem für Kraftfahrzeuge mit einem am Lenkgetriebe der Vorderachse oder an beiden lenkbaren Vorderrädern angebrachten, elektronisch geregelten Lenksteller, einem den Fahrerlenkwunsch am Lenkrad abgreifenden Lenkradsensor und mit einer Rückwirkungen der Straße an den Fahrer über das Lenkrad übermittelnden Feedback-Aktuatoreninheit.

10 Ein derartiges Steer-by-Wire Lenksystem für Kraftfahrzeuge ist aus der DE 195 40 956 C1 bekannt. Bei diesem bekannten Lenksystem läßt sich die sonst starre mechanische Antriebsverbindung zwischen Lenkrad und einer Lenkgetriebebeanordnung an den gelenkten Fahrzeugrädern durch Öffnen einer Kupplung auftrennen. Dann ist dieses Lenksystem ein Steer-by-Wire Lenksystem, bei dem das Lenkrad lediglich mittelbar mit der Lenkgetriebebeanordnung gekoppelt ist. Hier ist zur Übermittlung der Rückwirkungen der Straße an den Fahrer über das Lenkrad ein Handkraftsteller vorgesehen, der als selbsthemmungsfreier Elektromotor ausgeführt ist und, angesteuert von einer Steuerelektronik am Lenkrad einen steuerbaren Betätigungs widerstand bewirkt.

15 Ein weiteres aus dem US-Patent 5 347 458 bekanntes Steer-by-Wire Lenksystem verwendet einen an der Lenkradwelle angreifenden Lenkradsteller dazu, dem Lenkrad eine Reaktionskraft aufzuprägen, die sich als eine mathematische Funktion darstellen läßt, welche einen der Winkelbeschleunigung des Lenkrads proportionalen Beschleunigungsterm, einen der Winkelgeschwindigkeit des Lenkrads proportionalen Geschwindigkeitsterm, einen dem Auslenkungswinkel des Lenkrads proportionalen Proportionalterm und einen konstanten Term enthält, dessen Wert konstant ist, dessen Vorzeichen jedoch von der Auslenkungsrichtung des Lenkrads aus einer neutralen Position abhängt. Mit dieser auf das Lenkrad einwirkenden Reaktionskraft soll dem Fahrzeuglenker nicht nur eine Kraft am Lenkrad entgegengesetzt werden, wie er von konventionellen Lenksystemen her gewohnt ist, sondern auch die Fahrzeuglenkbarkeit und Stabilität erhöht, insie von Fahrzeugzustände über das Lenkrad dem Fahrer vermittelt werden, so daß dieser die richtigen Lenkmanöver ausführen kann. Indem man den Koeffizienten wenigstens eines der oben genannten Terme in der die Reaktionskraft darstellenden mathematischen Funktion gemäß den Betriebszuständen des Fahrzeugs, wie zum Beispiel der Fahrzeuggeschwindigkeit verändert, läßt sich eine Reaktionskraft erzeugen, die für jeden besonderen Anwendungsfall optimal ist.

Aufgabe und Vorteile der Erfindung

30 Es ist Aufgabe der Erfindung, ein Fahrzeuglenksystem, bei dem keine mechanische bzw. hydraulische Kopplung zwischen dem Lenkrad und der gelenkten Fahrzeugachse mehr vorliegt, d. h. ein Steer-by-Wire Lenksystem anzugeben, welches nicht nur den vom Lenkradsensor erfaßten Fahrerlenkwunsch unter Berücksichtigung von fahrdynamischen Größen modifizieren kann, sondern auch die Querdynamik durch eine Modifikation des Fahrerlenkwunsches verbessert und gleichzeitig eine individuelle Anpassung an verschiedene Fahreransprüche durch adaptive Nachbildung des durch den Feedback-Aktuator vermittelten Handmoments und damit die Erzeugung adaptiver Sollwerte für den Lenkradregler erlaubt.

35 Die Aufgabe wird anspruchsgemäß gelöst. Auf der Grundlage der in den Patentansprüchen angegebenen Merkmale wird ein erfindungsgemäßes Steer-by-Wire Lenksystem für Kraftfahrzeuge geschaffen, das eine flexible Struktur hinsichtlich der Funktionsrealisierung besitzt, den Lenkkomfort durch eine geschwindigkeitsabhängige variable Lenkwin kelübersetzung erhöhen kann, die Querdynamik durch von Fahrzeugbetriebszuständen abhängige Modifikationen des Fahrerlenkwunsches verbessert und das eine individuelle Anpassung an verschiedene Fahreransprüche durch adaptive Nachbildung des durch den Feedback-Aktuator auf das Lenkrad aufgebrachte Handmoments und damit adaptive Sollwerte für den Lenkradregler möglich macht. Mit dem erfindungsgemäß gestalteten Steer-by-Wire Lenksystem läßt sich zum Beispiel die Leistung auf Schlechtwegstrecken über eine Leistungsüberwachung der Lenksteller drosseln und hap tische Rückmeldungen bei Überlastung des Lenkstellers dem Fahrer durch das Lenkrad vermitteln, wozu zum Beispiel gehören:

40 – Veränderung der Lenkgegenkraft bei nicht griffiger Fahrbahn wie beim Aquaplaning, beim Glatteis, usw., bzw. abhängig vom Reibbeiwert der Straßenoberfläche (dieser wird zum Beispiel im ABS-Steuergerät ermittelt);

45 – Veränderung der Lenkgegenkraft bei Gefahr des Fahrzeugschleuderns bzw. Fahrzeugkipps (die Information dazu kann zum Beispiel aus dem ESP-Steuergerät übertragen werden);

50 – Veränderung der Lenkgegenkraft bei schlechten Wegstrecken (das Signal für eine schlechte Wegstrecke kann zum Beispiel vom ABS-Steuergerät übertragen werden);

55 – Anzeige von Fehlbedienungen durch kurzes Ruckeln des Lenkrades beispielsweise bei Überschreiten der Maximaldrehzahl bzw. der maximalen Fahrzeuggeschwindigkeit.

60 Die obigen und weiteren vorteilhaften Merkmale der Erfindung werden nachfolgend anhand der bevorzugten Ausführungsbeispiele des erfindungsgemäßes Steer-by-Wire Lenksystems erläuterten Beschreibung anhand der Zeichnung näher beschrieben.

Zeichnungen

65 Die Fig. 1 zeigt in schematischer, blockschaltbildartiger Darstellung ein mit den erfindungsgemäßes Funktionen ausgestattetes Steer-by-Wire Lenksystem mit einem Lenksteller;

70 Die Fig. 2 zeigt eine schematische Darstellung eines mit den erfindungsgemäßes Funktionen ausgestatteten Steer-by-Wire Lenksystems mit zwei Lenkstellern;

75 Die Fig. 3A zeigt in Form von Funktionsblöcken eine erfindungsgemäß geschwindigkeitsabhängige variable Lenk-

winkelübersetzung;

Die Fig. 3B zeigt graphisch eine mit der geschwindigkeitsabhängigen variablen Lenkwinkelübersetzung nachbildbare monotone Funktion der Lenkwinkelübersetzung abhängig von der Fahrgeschwindigkeit;

Die Fig. 4 zeigt blockschaltbildartig eine Anordnung zur Verbesserung der Querdynamik mittels einer durch das erfundungsgemäße Steer-by-Wire Lenksystem durchführbaren Fahrdynamikregelung;

Die Fig. 5 zeigt schematisch in Form eines Blockschaltbildes eine Regelung für den an der Lenkradwelle angreifenden Feedback-Aktuator gemäß der Erfindung;

Die Fig. 6 zeigt schematisch in Form eines Funktionsblockschaltbilds ein am Feedback-Aktuator gemäß Fig. 5 angekoppeltes Beobachtersystem;

Die Fig. 7 zeigt in Form eines Blockschaltbildes eine Hardwarestruktur eines Mikrorechnersystems durch das die Steuer- und Regelfunktionen in dem erfundungsgemäßen Steer-by-Wire Lenksystem realisierbar sind; und

Die Fig. 8 zeigt in Form eines Blockschaltbildes eine Hardwarestruktur mit zwei Mikrorechnersystemen, mit denen auch die erfundungsgemäßen Steuer- und Regelfunktionen des Steer-by-Wire Lenksystems realisierbar sind.

Detaillierte Beschreibung der Ausführungsbeispiele

Die Fig. 1 und 2 geben übersichtlich in schematischer Darstellung ein mit den erfundungsgemäßen Funktionen ausgestattetes Steer-by-Wire Lenksystem wieder. Die Bezeichnung "Steer-by-Wire" deutet auf die Tatsache hin, daß die Lenkung nicht über die übliche mechanische Lenksäule, sondern mit Hilfe eines Lenkstellers elektronisch realisiert wird. In Fig. 1 ist nur ein als Elektromotor ausgeführter Lenksteller 3 vorhanden, der über ein Lenkgetriebe 15 an der gelenkten Vorderachse eines Fahrzeugs angreift, während in Fig. 2 eine Ausführungsvariante mit Eingriffen durch zwei als Elektromotoren ausgeführte Lenksteller 3 und 4 dargestellt ist.

Der durch einen Lenkradwinkelsensor 9 erfaßte Fahrerlenkwunsch δ_H , der am Lenkrad 1 vom Fahrer eingegeben wird, wird gezielt mit Hilfe eines elektronischen Lenkreglers 10 verbundenen Sollwertbildners 11 situationsabhängig unter Verwendung fahrdynamischer Größen, wie zum Beispiel der Fahrgeschwindigkeit v , der Gierwinkelgeschwindigkeit ω , modifiziert und als Sollwert an einen Lenkregler 10 weitergeleitet. Weiterhin wird als zusätzliche Meßgröße das vom Fahrer auf das Lenkrad 1 übertragene Drehmoment oder Lenkradmoment M_H von einem Momentensensor 7 gemessen. Der Lenksteller 3 greift bei der in Fig. 1 gezeigten Version über ein Lenkgetriebe 15 an der gelenkten Vorderachse an. Bei der in Fig. 2 gezeigten Version sind an jedem Vorderrad jeweils ein Elektromotor 3, 4 als Lenksteller angebracht. In letzterem Fall können die Vorderräder radweise gelenkt werden, d. h. daß sie nicht in jedem Fall exakt den gleichen Lenkwinkel einschlagen müssen. Der Lenkregler 10 steuert den als Lenksteller dienenden Elektromotor 3 (Fig. 1), bzw. die Elektromotoren 3 und 4 gemäß Fig. 2 jeweils durch eine Ausgangsspannung U_V bzw. $U_{v,l}$ und $U_{v,r}$ an.

Das durch den Wegfall der mit der gelenkten Vorderachse starr verbundenen Lenksäule verlorengegangene Straßengefühl, welches bei einer herkömmlichen Lenkung durch das Rückstellmoment, d. h. durch ein Handmoment am Lenkrad dem Fahrer mitgeteilt wird und wovon der Fahrerlenkwunsch stark beeinflußt wird, wird mit Hilfe eines Feedback-Aktuators wieder hergestellt. Der Feedback-Aktuator des erfundungsgemäßen Steer-by-Wire Lenksystems besteht aus einem als Elektromotor ausgeführten Lenkradsteller 5, der über ein Getriebe 5a an das Lenkrad 1 gekoppelt ist, und aus einem Lenkradregler 6 zur Regelung des Lenkradstellers 5. Das Soll-Handmoment $M_{H,soll}$ wird durch einen mit dem Lenkradregler 6 funktionell zusammenarbeitenden Sollwertbildner 61 gebildet. Das Soll-Handmoment $M_{H,soll}$ wird vom Sollwertbildner 61 auf der Basis der am Lenksteller 3 bzw. 3 und 4 angebrachten Momentensensoren bzw. Stromsensoren 8 bzw. 8l, und 8r gemessenen Rückstellmomente M_V (bzw. $M_{v,l}$ und $M_{v,r}$) bzw. Ströme I_V (bzw. $I_{v,l}$ und $I_{v,r}$) ermittelt. Alternativ kann das Soll-Handmoment $M_{H,soll}$ auch mit Hilfe eines Feedback-Simulators aus dem von dem Lenkradwinkelsensor gemessenen Lenkradwinkel δ_V (bzw. $\delta_{v,l}$ und $\delta_{v,r}$) und anderen im Fahrzeug ohnehin vorhandenen Signalen, wie zum Beispiel der Fahrgeschwindigkeit v und dem Reibwert μ zwischen Straße und Reifen nachgebildet werden. Der Lenkradregler 6 erhält außer dem so ermittelten Soll-Handmoment $M_{H,soll}$ weitere Größen, wie das von dem mit der Lenksäule gekoppelten Momentensensor 7 gemessene Lenkradmoment M_H , den Lenkradwinkel δ_H , der von dem Lenkradwinkelsensor 9 gemessen wird, den Strom I_H des Lenkradstellers 5 und gibt an den Lenkradsteller 5 eine Spannung U_H zur Regelung desselben aus.

Nachstehend wird anhand der Fig. 3A und 3B eine situationsabhängige Sollwertbildung durch den Sollwertbildner 11 für den Lenkregler 10 im Sinne einer Anpassung des Fahrkomfort durch eine geschwindigkeitsabhängige variable Lenkwinkelübersetzung beschrieben.

Das Lenkgetriebe ist konstruktiv mit einer festen Lenkwinkelübersetzung i_s (z. B. 15 bis 17) vorgesehen. Diese Übersetzung wird in der Regel vom Fahrer als angenehm für normale Fahrten bei höheren Geschwindigkeiten empfunden. Beim Rangieren ist aber erwünscht, daß mit kleinen Lenkwinkeln große Radeinschlagwinkel erzielt werden. D. h. die Lenkwinkelübersetzung soll bei niedriger Geschwindigkeit verkleinert werden (zum Beispiel 8 bis 10). Diese Anforderung kann durch die in Fig. 3A skizzierte Anordnung erfüllt werden.

Der Fahrerlenkwunsch δ_H wird mit einer geschwindigkeitsabhängigen Funktion $f(v)$ modifiziert:

$$\delta_H^* = f(v) \delta_H \quad (1)$$

Dieser wird als neuer Sollwert dem Lenkregler zugeführt:

$$\delta_H^* = i_s \cdot \delta_v$$

Daraus ergibt sich künstlich:

$$\delta_H = (i_s/f(v)) \cdot \delta_v$$

Der Lenksteller ist nur für normale Lenkmanöver ausgelegt. Kritisch wird diese Auslegung für die Lenkung auf einer langen Schlagloch- oder Feldwegstrecke. Dies wird aber in Kauf genommen, damit die Dimensionierung des Motors klein gehalten wird. Über ein Temperaturmodell kann bei Erwärmung des Motors die Überlastung des Motors erkannt werden. Als Maßnahmen kann entweder eine entsprechend modulierte Rückwirkung dem Lenkrad (z. B. Schwergängigkeit) zugeführt oder die Dynamik und damit die Leistung des Motors zurückgefahren werden.

Im folgenden wird die Ermittlung der Handmomente am Lenkrad erläutert.

Das Handmoment wird durch eine Momentenmessung bzw. eine Strommessung des Lenkstellers ermittelt und aufbereitet. Dies kann auch über eine Modellbildung mit Hilfe ohnehin bekannter Fahrzeugdaten (v , μ , δ , etc.) berechnet werden. Beide Verfahren können vorteilhaft kombiniert werden.

A Modellgestützte Nachbildung der Handmomente (Feedback-Simulator)

1. Möglichkeit

Über ein Fahrzeugmodell (im einfachsten Fall: "Einspurmodell") wird anhand der Fahrzeuggeschwindigkeit und des Lenkwinkels das Gierverhalten des Fahrzeugs und daraus die Schräglauftwinkel der Räder berechnet. Durch die Verwendung eines Reifenmodells wird das Rückstellmoment an den Vorderrädern berechnet. Ein nachgeschaltetes Lenksäulenmodell (Lenkrad, Lenksäule, Zahnstange, Spurhebel, Servounterstützung, etc. unter Berücksichtigung von Reibung und Elastizitäten) ermöglicht die Berechnung des Handmoments am Lenkrad.

2. Möglichkeit

In einem Kennfeld sind charakteristische Parameter für ein nachgeschaltetes Modell der Lenkcharakteristik unter Berücksichtigung von Reibung und Elastizitäten in der Lenkanlage gespeichert. In Abhängigkeit unterschiedlicher Fahrzeugsituationen (Geschwindigkeit, Straßenreibwert, Lenkwinkel, etc.) werden die entsprechenden Handmomente berechnet.

B Ermittlung des Handmoments über Messung

Das Rückstellmoment wird mittels Messung der Momente M_v bzw. M_{vL} , M_{vR} an den Vorderrädern bzw. über eine Messung des Lenkstellerstroms I_v bzw. I_{vL} , I_{vR} ermittelt und konvertiert. Nach entsprechender Aufbereitung und Filterung gelangt das Rückstellmoment auf ein Lenksäulenmodell (s. o.), das die Berechnung des Handmoments am Lenkrad ermöglicht.

Fig. 5 gibt die schematische Darstellung des Regelkreises des Feedback-Aktuators wieder. Kernstück des Lenkradreglers 6 ist ein adaptiver Momentenregler 6a, der sicherstellt, daß das Rückstellmoment der Reifen auf das Lenkrad 1 übertragen wird. Der Momentenregler 6a liefert einen Sollstrom $I_{H,soll}$ für einen internen Stromregler 6b, der den Lenkradsteller 5 (z. B. einen Gleichstrommotor) mit einer Spannung U_H ansteuert. Die Adaption geschieht bei der Aufbereitung des Soll-Handmoments $M_{H,soll}^*$ wie folgt:

- Das durch eine Momentenmessung M_v bzw. eine Strommessung I_v des Lenkstellers ermittelte Rückstellmoment M_v^* wird aufbereitet und bewertet (Block 613). Durch Filterung 612 können Fahrbahnunebenheiten, Vibratoren, etc. eliminiert werden. Wichtige Momentenänderungen, die bei Fahrbahnbelagsänderungen, Fahren auf Glatteis, Abdrücken des Rades am Bordstein, etc. auftreten, werden unverändert ans Lenkrad 1 übertragen.
- Das Gesamtübertragungsverhalten kann darüber hinaus mittels Parameteradaption 614 an verschiedene Fahreransprüche, die mit Hilfe einer Fahrertyperkennung 615 festgestellt werden, angepaßt werden und ermöglicht somit einen individuellen Lenkkomfort.
- Das auf der Basis eines Lenksäulenmodells 611 nachgebildete Handmoment $M_{H,soll}$ muß schließlich über eine Adoptionsstrategie 616 modifiziert werden ($M_{H,soll}^*$), damit die herkömmliche Rückwirkung auf das Lenkrad bei mechanischen Lenkungen naturgetreu auch für das Steer-by-Wire-Fahrzeug hergestellt werden kann.

Das modifizierte Soll-Lenkradmoment $M_{H,soll}^*$ wird auf ein Maximalmoment begrenzt, um ein Fahrgefühl zu vermitteln, wie es bei heutigen Servolenkungen üblich ist. Aus Kosten-, Gewichts- und Platzgründen sollte der Feedback-Aktuator nur die Kräfte übertragen können, die durch den normalen Fahrbetrieb entstehen. Größere Momente, die z. B. beim Abdrücken des Rades vom Bordstein entstehen, können dem Fahrer durch eine andere Rückmeldung ("haptisches Signal" wie z. B. Vibrieren des Lenkrads) weitergegeben werden.

Fig. 6 zeigt einen Beobachter B, der anhand des Motorstroms I_H und der Lenkradbewegung schätzt, welche Momente der Fahrer auf das Lenkrad ausübt. Dazu wird aus dem gemessenen Lenkradwinkel δ_H dessen erste und zweite Ableitung $\dot{\delta}_H$ und $\ddot{\delta}_H$ vermittelt und Differenzen zu entsprechenden, durch den Beobachter B gebildeten Größen δ_H^* , $\dot{\delta}_H^*$ und $\ddot{\delta}_H^*$ gebildet. Damit kann z. B. festgestellt werden, ob der Fahrer die Hand am Lenkrad hat oder ob der Fahrer das System übersteuern möchte. Fahrerassistenzfunktionen, die der Steer-by-Wire Lenkregelung überlagert sind, benötigen diese Informationen für ihre Abschaltstrategien.

In Fig. 7 und 8 werden zwei Realisierungsvarianten der Erfindung dargestellt.

Fig. 7 zeigt eine Realisierung mittels eines Mikrorechnersystems. Die dargestellte Funktionskomponente R beinhaltet ein Mikrorechnersystem einschließlich der zugehörigen Peripheriekomponenten für die Erfassung aller Sensorsignale. Zudem ist darin auch die erforderliche Leistungselektronik zur Bildung des Ansteuersignales U_H für den Lenkradsteller 5 bzw. U_v für die Ansteuerung des Lenkstellers 3; 3, 4 enthalten. Die in Klammern dargestellten Sensorsignale bzw. Stellgrößen sind für die radindividuelle Realisierungsvariante des Steer-by-Wire Lenksystems gültig.

K_1 kennzeichnet ein Kommunikationssystem, z. B. realisiert mittels eines seriellen Busses, das die Verbindung zu

weiteren Steuergeräten, wie einem ABS-Steuergerät, einem ESP-Steuergerät im Kfz ermöglicht. Über dieses Kommunikationssystem werden die Sensorsignale für die Gierwinkelgeschwindigkeit ω und für die Querbeschleunigung a_y dem Mikrorechnersystem zugeführt. Zudem werden über K_1 Schätzwerte für den Reibkoeffizient μ zwischen Rad und Straße und ein Schätzwert der Fahrzeuggeschwindigkeit v übertragen.

5 In der in Fig. 8 dargestellten Ausführungsvariante werden die Aufgaben des Steer-by-Wire Lenksystems auf die zwei Mikrorechnersysteme R_1 und R_2 verteilt, die mittels des Systems K_1 kommunizieren. Im Mikrorechnersystem R_1 werden die Funktionen für die Regelung des Feedback-Aktuators realisiert und im Mikrorechnersystem R_2 erfolgt die Regelung des gewünschten Lenkwinkels einschließlich der im Zusammenhang mit der Fig. 4 beschriebenen Maßnahmen zur Verbesserung der Querdynamik.

10 Da das oben beschriebene Steer-by-Wire Lenksystem dazu eingerichtet ist, dem Fahrer des Kraftfahrzeugs über das Lenkrad 1 durch den Feedback-Aktuator Rückmeldungen zu übertragen, die auch entsprechend bestimmten Betriebszuständen des Kraftfahrzeugs moduliert sein können, eignet sich das erfundungsgemäße Lenksystem auch dazu, Fehlbedienungen des Fahrers am Lenkrad 1 oder an anderen Bedienungselementen des Kraftfahrzeugs mitzuteilen. Dadurch wird eine zusätzliche aktive Sicherheit beim Betrieb des Kraftfahrzeugs erreicht. Darunter seien folgende Anwendungsfälle 15 für das erfundungsgemäße Steer-by-Wire Lenksystem erwähnt:

- Veränderung der Lenkgegenkraft bei nicht griffiger Fahrbahn, z. B. bei Aquaplaning, bei Glatteis, usw., bzw. abhängig von dem z. B. im ABS-Steuergerät ermittelten und übertragbaren Reibbeiwert in der Straßenoberfläche;
- Veränderung der Lenkgegenkraft bei Gefahr des Fahrzeugschleuderns bzw. Gefahr, daß das Fahrzeug kippt. Die Information hierzu kann vom ISP-Steuergerät übertragen werden;
- Veränderung der Lenkgegenkraft bei Strecken mit schlechter Fahrbahnoberfläche, wie beispielsweise bei Schlaglöchern oder starken Welligkeiten. Das Signal für eine Schlechtwegstrecke liegt unter anderem in dem ABS-Steuergerät vor und kann von dort an die Feedback-Aktuatorenheit übertragen werden;
- Anzeige von Fehlbedienungen des Kraftfahrzeugs durch kurzes Ruckeln oder Vibrieren des Lenkrades, beispielsweise bei überschreiten der Maximaldrehzahl oder der maximalen Fahrzeuggeschwindigkeit.

25 Durch die Verwendung von im Systemverbund zur Verfügung stehenden Informationen (z. B. ABS, ESP, ACC, usw.) kann zur Information des Fahrers das Rückstellmoment am Lenkrad verändert werden. Auch können Fehlerinformationen und Warnungen dem Fahrer über haptische Rückmeldungen am Lenkrad (z. B. Ruckeln) übermittelt werden.

30 Eine vorteilhafte Ausführungsform der Erfindung betrifft Fahrzeuge, die verstellbare Aufhängungssysteme zwischen dem Fahrzeugaufbau und den einzelnen Rädern aufweisen. Bei solchen sogenannten aktiven Fahrwerken bzw. Fahrwerkregelungs- oder Fahrwerksteuerungssystemen kann beispielsweise der Abstand zwischen dem Fahrzeugaufbau und den einzelnen Rädern, das Fahrzeugniveau, eingestellt werden. Darüber hinaus können die Federungs- und/oder Dämpfungseigenschaften der Aufhängungssysteme, im allgemeinen eine Kombination aus einem federnden und einem dämpfenden Element, individuell an den vorliegenden Fahrzeug-, Fahr- und/oder Fahrbahnzustand automatisch angepaßt werden. So kann beispielsweise die Dämpfung erhöht werden, wenn sich die Beladung des Fahrzeugs ändert.

35 Sind solche Fahrwerksysteme vorhanden, so ist in dieser Ausgestaltung der Erfindung vorgesehen, daß das Soll-Handmoment abhängig von der Einstellung der Aufhängungssysteme, also insbesondere abhängig von dem Abstand zwischen dem Fahrzeugaufbau und den Rädern, der Federungseigenschaft und/oder der Dämpfungseigenschaft der Aufhängungen zwischen Aufbau und Rädern, ermittelt wird. Besonders vorteilhaft ist es hierbei, daß bei abnehmender Dämpfung und/ 40 oder abnehmender Federungshärte das Soll-Handmoment erhöht wird. So kann bei geringer Dämpfung dem Fahrer durch Erhöhung des Handmoments vermittelt werden, daß er nicht zu schnell in eine Kurve fahren sollte. Darüber hinaus kann das Handmoment insbesondere abhängig von der Fahrzeuggeschwindigkeit gewählt werden. Die Beeinflussung des Handmoments kann beispielsweise durch eine Kennlinie oder ein Kennfeld aus der Fahrzeughöhe (Abstand zwischen Fahrzeugaufbau und Rädern) und der Fahrzeuggeschwindigkeit bestimmt werden.

45 Besonders vorteilhaft ist es, daß der schon beschriebene Lenkradregler dafür eingerichtet ist, das dem Lenkradsteller zugeführte Handmoment abhängig von dem obenerwähnten Abstand, der obenerwähnten Federungseigenschaft und/oder der obenerwähnten Dämpfungseigenschaft zu verändern.

50 Eine weitere vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung betrifft Fahrzeuge, die ein Reifenluftdruckerfassungsgerät aufweisen, durch das der momentane Luftdruck in den Fahrzeugreifen erfaßt wird. In diesem Fall ist vorgesehen, daß das Soll-Handmoment abhängig von dem erfaßten Luftdruck ermittelt wird. Insbesondere ist dabei vorgesehen, daß der Lenkradregler dafür eingerichtet ist, das dem Lenkradsteller zugeführte Handmoment abhängig von erfaßten Luftdruck zu verändern.

55 Fällt der Reifendruck ab (vorgebbaren Sinken des Luftdrucks) bzw. ist der Reifendruck zu niedrig (Unterschreitung des Luftdrucks unter einen vorgebbaren oder vorgegebenen Schwellenwert), so kann dem Fahrer mittels dem Handmoment durch ein Ruckeln oder Vibrieren am Lenkrad vermittelt werden, daß er nicht zu schnell, insbesondere in einer Kurve, fahren sollte. Darüber hinaus kann das Handmoment insbesondere abhängig von der Fahrzeuggeschwindigkeit gewählt werden. Die Beeinflussung des Handmoments kann beispielsweise durch eine Kennlinie oder ein Kennfeld aus dem erfaßten Reifendruck und der Fahrzeuggeschwindigkeit bestimmt werden.

60

Patentansprüche

65 1. Steer-by-Wire Lenksystem für Kraftfahrzeuge mit einem am Lenkgetriebe (15) der Vorderachse oder an beiden lenkbaren Vorderrädern angebrachten, elektronisch geregelten Lenksteller (3, 4), einem den Fahrerlenkwunsch (δ_H , M_H) am Lenkrad (1) abgreifenden Lenkradsensor (7, 9) und mit einer Rückwirkungen der Straße an den Fahrer über das Lenkrad (1) übermittelnden Feedback-Aktuatorenheit (5, 6), dadurch gekennzeichnet, daß mit dem elektronischen mechanischen Lenksteller (3, 4) ein elektronischer Lenkregler (10) funktionell verbunden ist, der mit Hilfe eines mit dem Lenkregler (10) funktionell verbundenen Sollwertbildners (11) den vom Lenkradsensor (7, 9) erfaßten Fah-

5
10
15
20
25
30
35
40
45
50
55
60
65

rerlenkunsch (δ_H) abhängig von fahrdynamischen Größen modifiziert und daraus einen Sollwert für den oder die Lenksteller (3, 4) bildet, wobei der Feedback-Aktuator (5, 6) einen Lenkradsteller (5), der über ein Getriebe (5a) an das Lenkrad (1) angekoppelt ist und einen mit dem Lenkradsteller (5) funktionell in Verbindung stehenden Lenkradregler (6) zur Regelung des Lenkradstellers (5) aufweist, wobei der Lenkradregler (6) ein Soll-Handmoment ($M_{H,soll}$) für den Fahrer aufgrund von mittels am Lenksteller (3) oder an den Lenkstellern (3, 4) angebrachten Moment- oder Stromsensoren (8) gemessenen Rückstellmomenten bzw. Rückstellströmen oder aufgrund von durch den Lenkradsensor (9) gemessenen Signalen (δ_v) und anderen im Fahrzeug vorhandenen Zustandssignalen (v, μ), wobei v die Fahrgeschwindigkeit und μ der Reibwert der Straße/Reifen sind, simulierten Rückstellmomenten ermittelt, und wobei das Soll-Handmoment ($M_{H,soll}$) dem an das Lenkrad durch den Lenkradsteller (5) übertragenen Handmoment zugrunde liegt.

2. Steer-by-Wire-Lenksystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der elektronische Lenkregler (10) zur Erzeugung einer von der Fahrgeschwindigkeit abhängigen variablen Lenkwinkelübersetzung abhängig vom Fahrerlenkunsch (δ_H) gemäß folgender Beziehung eingerichtet ist:

$$\delta_H^* = f(v) - \delta_H,$$

wobei δ_H^* dem Lenkregler als neuer Sollwert zugeführt wird.

3. Steer-by-Wire-Lenksystem nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß der elektronische Lenkregler (10) die Lenkwinkelübersetzung durch eine von der Fahrgeschwindigkeit monoton abhängige Funktion ($f(v)$) variiert.

4. Steer-by-Wire-Lenksystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Lenkregler (10) funktionell mit einem Gierregler (13) verbunden ist, der zu einer fahrdynamikabhängigen Modifikation des Fahrerlenkungsches (δ_H) eingerichtet ist, um ein gewünschtes Gierverhalten des Fahrzeugs zu erreichen.

5. Steer-by-Wire-Lenksystem nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß der Gierregler (13) funktionell mit einem Referenzgeber (14) verbunden ist, der ein gewünschtes Gierverhalten (ω_{ref}) gemäß folgender Beziehung vor gibt:

$$\omega_{ref} = \left[\frac{v}{l \left(1 + \frac{v^2}{v_{ch}^2} \right)} \cdot \frac{\delta_H}{i_s} \right] \cdot \frac{1}{1 + T_{ref} s}$$

wobei

ω_{ref} : Soll-Giergeschwindigkeit

v : Geschwindigkeit

v_{ch} : Charakteristische Geschwindigkeit ($\approx 60 \dots 100$ km/h)

l : Achsstand

T_{ref} : Zeitkonstante

s : Laplace-Operator

sind.

6. Steer-by-Wire-Lenksystem nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß der Gierregler im Falle radindividueller Lenksteller (3, 4) die Modifikation des Fahrerlenkungsches abhängig von der Geometrie der jeweils kurveninneren und kurvenäußeren Räder gemäß folgender Beziehung ausführt:

Innen:
$$\delta_{H,i}^* = \left[\frac{R}{R - \left(\frac{b}{2} \right)} \right] \cdot \delta_H^*$$

Außen:
$$\delta_{H,a}^* = \left[\frac{R}{R + \left(\frac{b}{2} \right)} \right] \cdot \delta_H^*,$$

wenn b der gleiche Radabstand der Räder ist, wobei sich der Kreisradius R aus den Geschwindigkeiten v , v_a und dem Radabstand b der hinteren Antriebsräder durch folgende Beziehung ermitteln läßt:

$$R = \frac{b(v_a + v_i)}{2(v_a - v_i)}.$$

7. Steer-by-Wire-Lenksystem nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß der Feedback-Si-

- Leerseite -

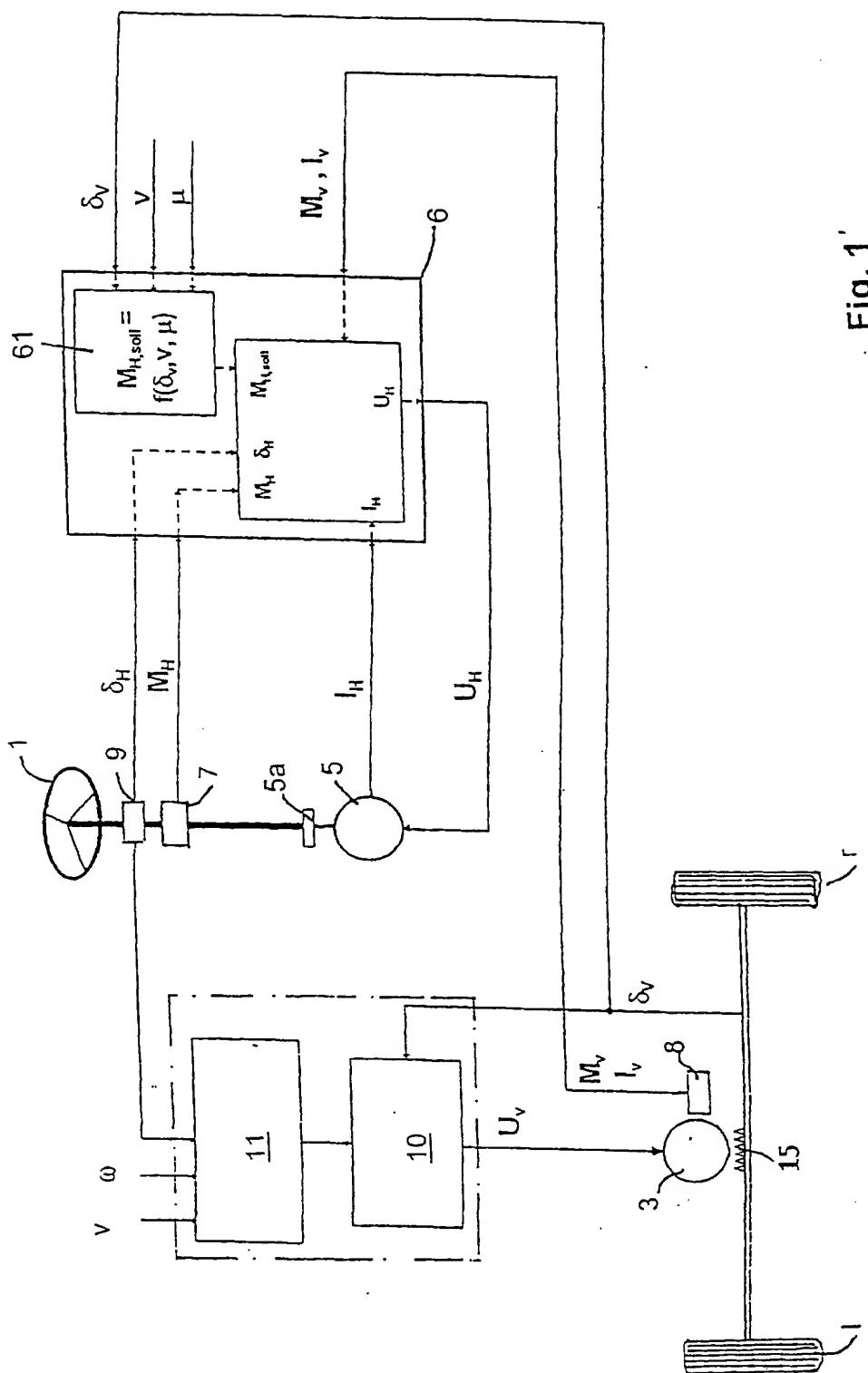


Fig. 1

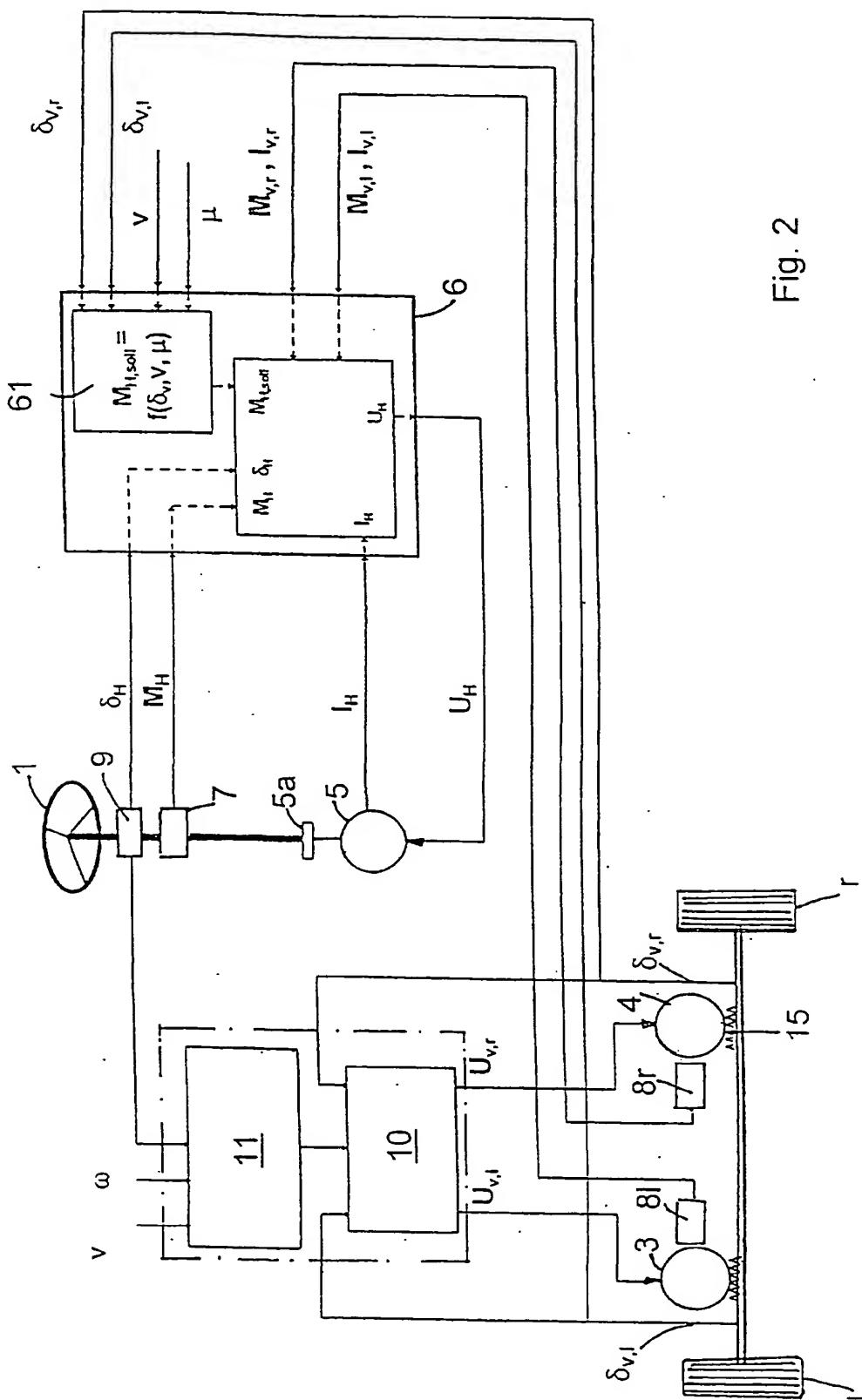
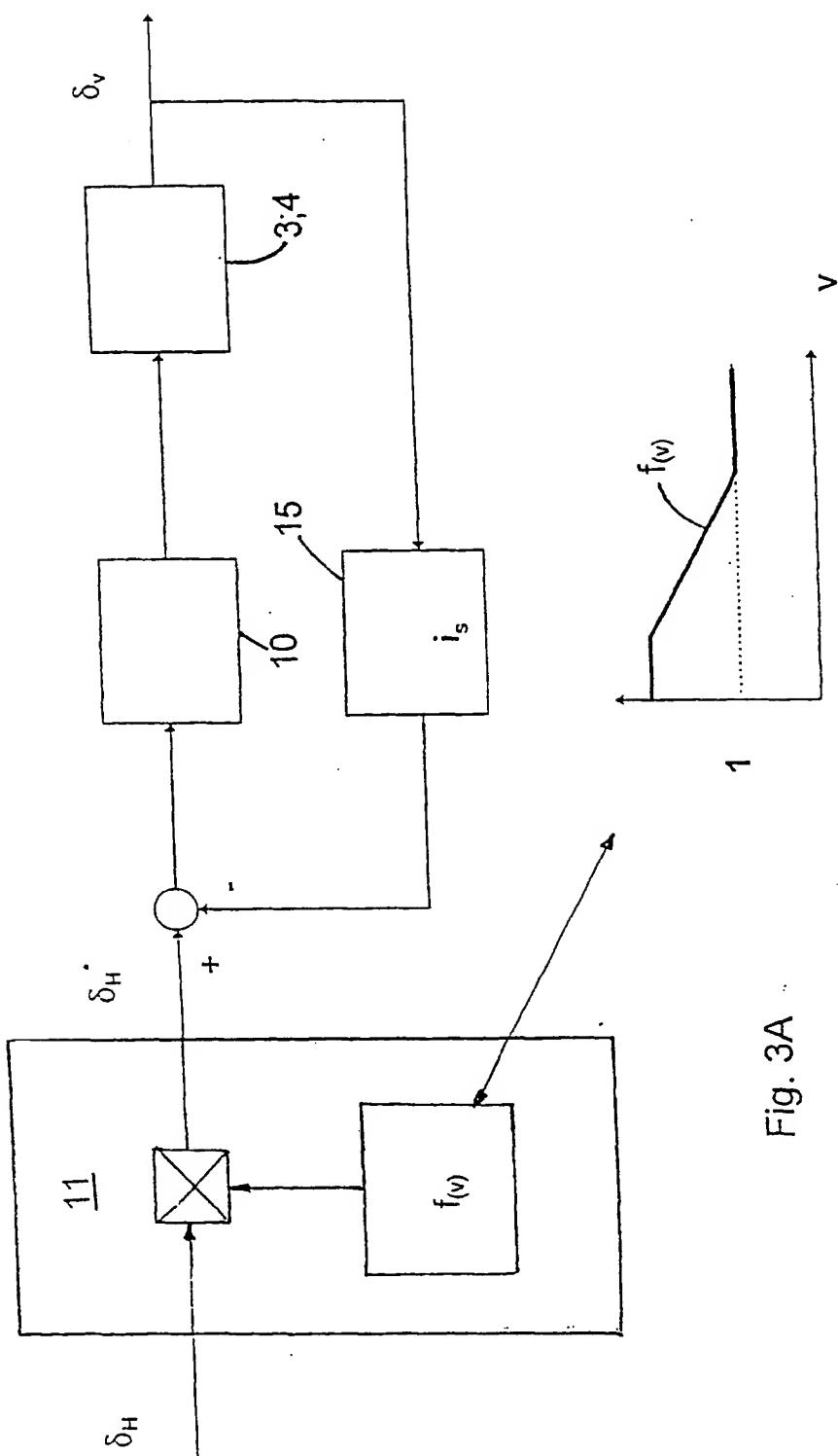


Fig. 2



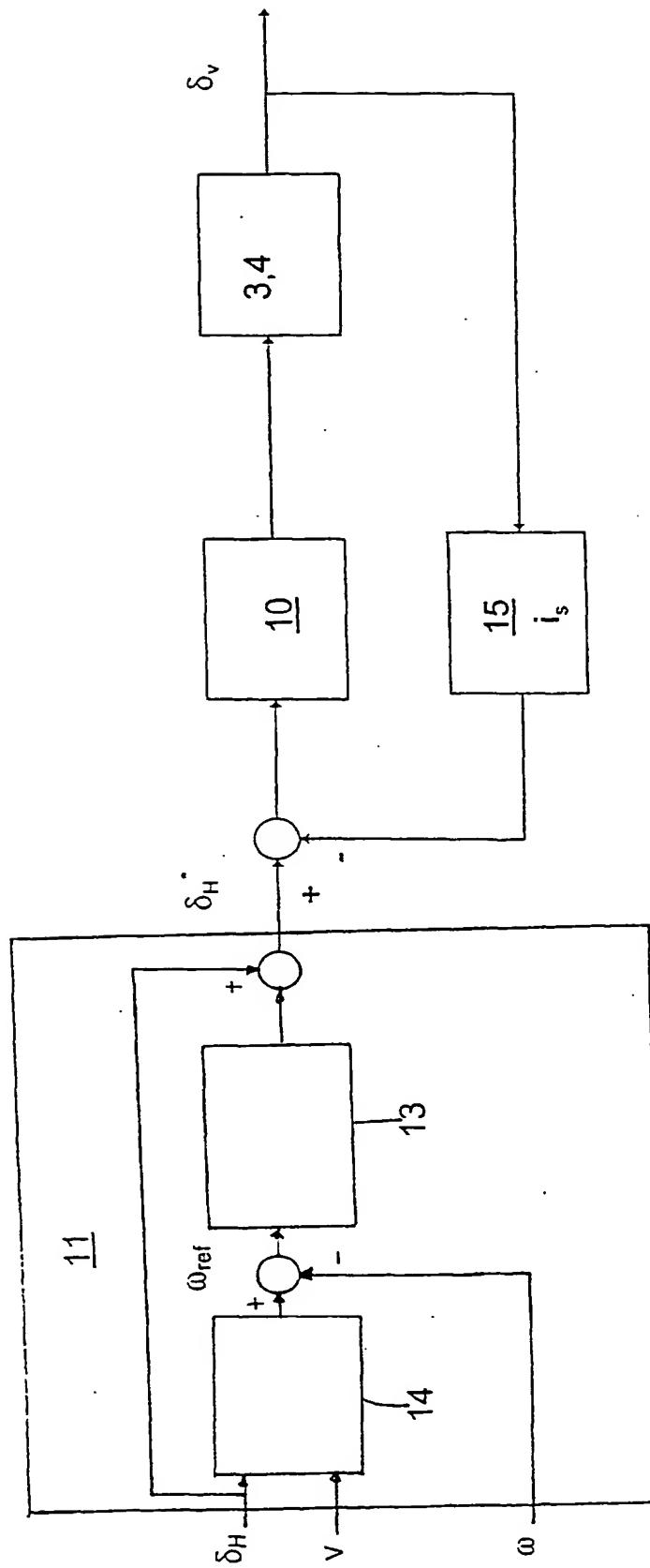


Fig. 4

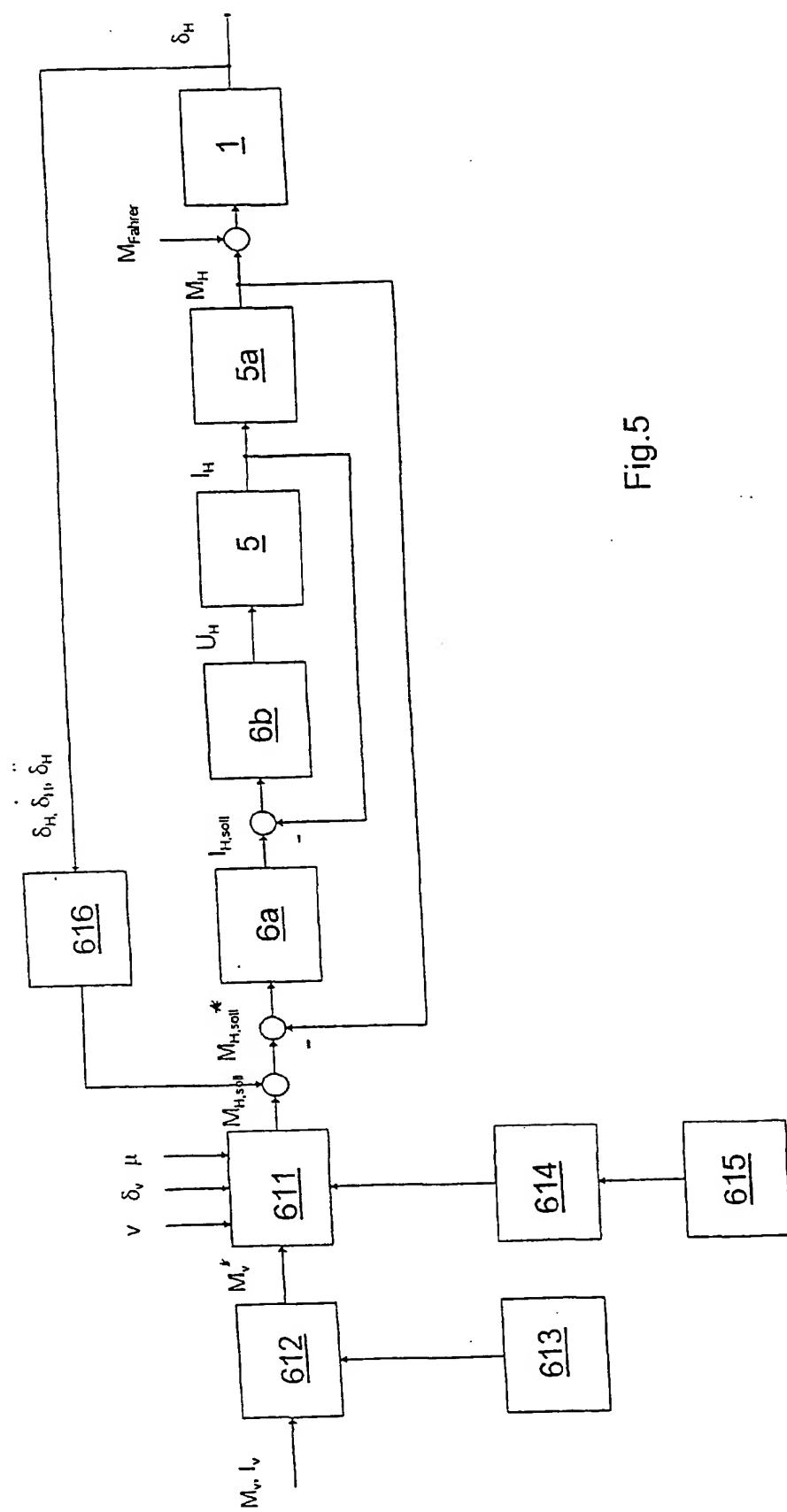


Fig. 5

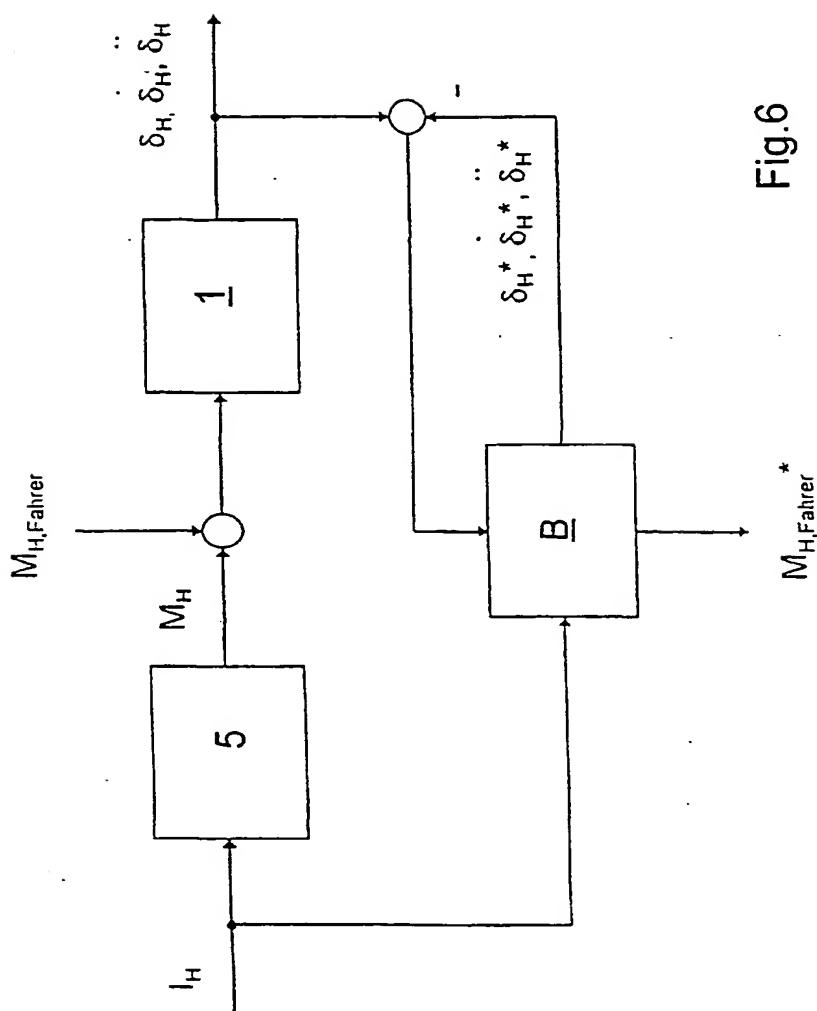
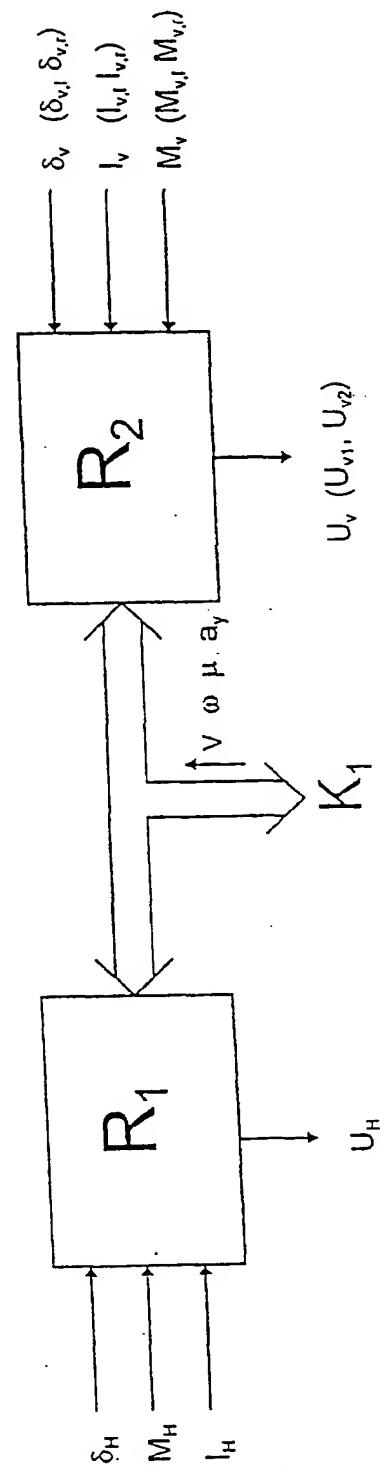
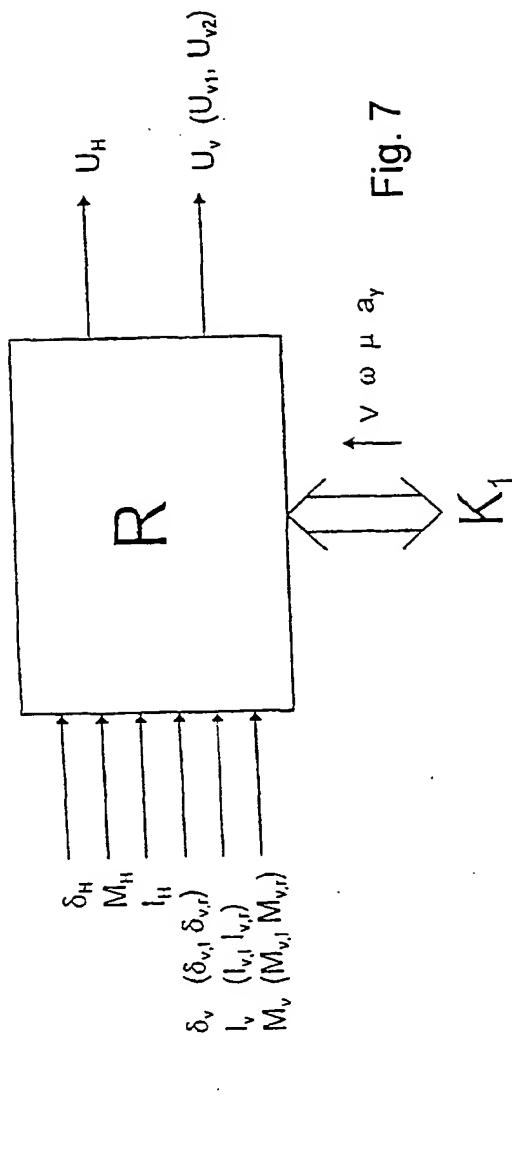


Fig. 6



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- BLACK BORDERS**
- IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- FADED TEXT OR DRAWING**
- BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- SKEWED/SLANTED IMAGES**
- COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- GRAY SCALE DOCUMENTS**
- LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.

THIS PAGE BLANK (USPS)